



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 34 342 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B23 K 26/00**  
H 01 S 3/23  
H 01 S 3/043  
// B23K 26/06

②1 Aktenzeichen: P 42 34 342.9  
②2 Anmeldetag: 12. 10. 92  
④3 Offenlegungstag: 14. 4. 94

DE 4234342 A1

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Krause, Volker, Dipl.-Ing., 5330 Königswinter, DE;  
Büchler, Alexander, 5100 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung

⑤7 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß zur Erzeugung der Laserstrahlung eine Vielzahl von Laserdioden vorgesehen sind, die in geeigneter Weise zu einem Laserdiodenarray gekoppelt werden. Die von den einzelnen Laserdioden emittierte Laserstrahlung wird mit geeigneten Mitteln zur Strahlführung und -formung, wie beispielsweise Mikrolinsen und/oder Faseroptiken auf die Bearbeitungsstelle übertragen und dort fokussiert.

DE 4234342 A1

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung, insbesondere zum Schweißen, Bohren, Schneiden, Löten, Wärmebehandeln, etc., wobei verschiedene Werkstoffe bearbeitet werden können.

## Stand der Technik

Die im Stand der Technik offenbarten Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung verwenden fast ausschließlich CO<sub>2</sub>-, Eximer-, oder Nd-YAG-Laser, mit denen die erforderlichen Intensitäten von mehr als 10<sup>3</sup> Watt pro cm<sup>2</sup> ohne weiteres erreicht werden. Der prinzipielle Aufbau dieser Laser ist gleich. Er besteht im wesentlichen aus dem Lasermedium, dem Resonator, der Pumpquelle und der Kühlung. Das Anwendungsspektrum dieser Laser unterscheidet sich hinsichtlich der Leistungsdichte und der Wechselwirkungszeit mit dem Werkstück. Dieser Zusammenhang ist für metallische Werkstoffe für verschiedene spezifischen Energien in Fig. 1 dargestellt.

Die Nachteile dieser bekannten Verfahren sind zu einen der geringere Wirkungsgrad (< 10%) und die auf durchschnittlich ca. 10 000 Stunden begrenzte Lebensdauer der Lasersysteme sowie zum anderen die hohe thermische und mechanische Empfindlichkeit der Laser und die damit verbundene arbeits- und kostenintensive Wartung dieser Lasersysteme. Darüber hinaus haben die bekannten Lasersysteme bedingt durch ihre Größe einen hohen Bedarf an Kühlleistung, Netzteilleistung, u. ä. sowie an Raum zum Aufbau der Systeme.

## Darstellung der Erfindung

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung anzugeben, welches sich auch zum Schweißen, Bohren, Schneiden, Oberflächenbehandeln, etc. eignet, und das die zuvor genannten Nachteile vermeidet.

Die Lösung dieser Aufgabe besteht in den im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen sind mit den Merkmalen der Unteransprüche 2 bis 10 gekennzeichnet.

Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, daß durch die Kombination einer Vielzahl von Laserdioden in einer hohen Packungsdichte mit einer geeigneten Strahlformung und -führung die zur Materialbearbeitung, insbesondere Schneiden, Bohren, Schweißen und Oberflächenbehandlung erforderlichen Intensitäten im Fokus auf der Bearbeitungsstelle erreicht werden, wobei mit diesem Lasersystem der elektrisch/optische Wirkungsgrad von < 10% auf > 30% gesteigert wird. Damit verbunden sind als weitere Vorteile Einsparungen im Bereich der Netzteile und der Kühlung möglich. Auch wird die Größe des Lasersystems zur Materialbearbeitung entscheidend reduziert. Ebenso wird der Preis pro Watt Laserleistung, unterstützt durch den Preisverfall der Laserdioden-Bauteile (siehe Fig. 2) gesenkt und eine weitgehende Wartungsfreiheit erreicht.

Die besondere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß dem Unteranspruch 3 ermöglicht mit den aus der Halbleitertechnik bekannten Me-

thoden eine einfache und damit preiswerte Herstellung der Laserdiodenarrays mit einer großen Anzahl von einzelnen Laserdioden pro Flächeneinheit.

Die Verwendung von Mikrolinsen entsprechend der Ausgestaltung nach Unteranspruch 4 hat den Vorteil, daß fast die gesamte von den Laserdioden erzeugte Laserstrahlung in den Fokus übertragen werden kann und damit beispielsweise ein Fokuspunkt mit geringem Durchmesser erzeugt werden kann, wodurch auf dem zu bearbeitenden Material eine hohe Leistungsdichte erzeugt wird.

Die Verwendung von Lichtleitfasern gemäß dem Unteranspruch 7 hat darüber hinaus den Vorteil, daß zur Übertragung der Laserleistung auf justierempfindliche Optiken verzichtet werden kann, und daß die Position des Laserfokus auf dem zu bearbeitenden Material mit einfachen Mitteln verschiebbar ist.

Den Vergleich einiger Eigenschaften von Laserdioden mit Nd-YAG- und CO<sub>2</sub>-Lasern zeigt die Tabelle in Fig. 9.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung ist in den Fig. 3 bis 8 an Hand von Ausführungsbeispielen dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigt

Fig. 1 Parameterbereich für den Einsatz von Laserdioden im Bereich der Materialbearbeitung

Fig. 2 zeitliche Entwicklung der Leistung von Laserdioden und des Preis-Leistungsverhältnisses

Fig. 3 einen Laserdiodenbarren mit einzelnen Laserdioden, montiert auf einem Kühlelement

Fig. 4 vergrößerter Ausschnitt des Laserdiodenbarrens von Fig. 3

Fig. 5 Stapelung von Laserdioden zu einem Laserdiodenarray

Fig. 6 Strahlformungsoptik mit Linsen zur Erzeugung eines Fokuspunktes

Fig. 7 Strahlformungsoptik zur Materialbearbeitung mittels Lichtleitfaser

Fig. 8 Anordnung zum Löten mit Lichtleitfaserübertragung der Laserstrahlung

Fig. 9 tabellarischer Vergleich der Eigenschaften von Laserdioden mit Nd-YAG- und CO<sub>2</sub>-Lasern.

Der in Fig. 1 gezeigte Vergleich mit den Bearbeitungs-Parameterfeldern von bekannten Materialbearbeitungsverfahren (graue Felder) zeigt, daß zu dem bereits bekannten Verfahren des Lötens als neue Bereiche für Laserdioden-Anwendungen das Schneiden, Schweißen und die Oberflächenbehandlung hinzuzurechnen ist. Damit ist die direkte Materialbearbeitung mit Laserdioden für viele Bereiche der Technik, insbesondere der Medizintechnik und des Maschinenbaus von Nutzen, wie beispielsweise die Verpackungsmaschinentechnik sowie die Fertigungstechnik mit den Schwerpunkten Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, etc. und vieles andere mehr.

In Fig. 3 ist ein Laserdiodenbarren dargestellt, der eine Länge von 10 mm, eine Breite von 0,6 mm und eine Höhe von 0,1 mm aufweist, und dessen Längsseite 800 einzelnen Laserdioden aufweist. Die von diesem Laserdiodenbarren ausgestrahlte Leistung erreicht einen Wert von bis zu 50 Watt. Die Qualität des Laserstrahls jeder einzelnen Laserdiode ist hierbei beugungsbegrenzt. Aufgrund der kleinen Strahlfläche von  $1 \times 3 \mu\text{m}^2$  besitzt die emittierte Laserstrahlung einen großen Divergenzwinkel. Die Werte des Divergenzwinkels liegen

im Bereich von 1000 mrad in der Ebene orthogonal zu der Reihe der einzelnen Laserdioden und etwa 200 mrad in der parallelen Ebene. Die maximal erreichbare Leistung der einzelnen Laserdioden ist auf einen Wert von etwa 60 mWatt begrenzt. Mit der zuvor genannten Größe der strahlenden Fläche von etwa  $1\text{ }\mu\text{m} \times 3\text{ }\mu\text{m}$  wird somit eine Leistungsdichte von etwa  $2 \times 10^6$  Watt pro  $\text{cm}^2$  erreicht.

Um ein Lasersystem mit einer hohen Gesamtleistung zu erhalten, muß das Lasersystem eine genügend große Anzahl an einzelnen Laserdioden aufweisen. Hierzu werden die einzelnen Laserdioden auf verschiedene Weise mit einander kombiniert.

Fig. 5 zeigt die Kombination der einzelnen Laserdioden zu einem Stapel von Laserdiodenbarren, die durch Kühlelemente voneinander beabstandet sind. Die Kühlelemente haben eine Dicke von etwa 0,3 bis 2 mm. Ferner sind Öffnungen vorgesehen, durch die ein flüssiges oder gasförmiges Kühlmittel zur Abführung der beim Betrieb der Laserdioden entstehenden Wärme geführt werden kann. Mit dieser Stapeltechnik kann eine Packungsdichte von bis zu 25 000 einzelnen Laserdioden pro  $\text{cm}^2$  erreicht werden. Die damit erzielbare mittlere Leistungsdichte der Laserstrahlung hängt wesentlich von der verwendeten Kühltechnik ab. Zur Übertragung der Laserstrahlung, die von dem Laserdiodenarray erzeugt wird, kann im einfachsten Fall eine Abbildung dieses Laserdiodenarrays auf das zu bearbeitende Werkstück vorgesehen werden. Zur Erzielung einer hohen Leistungsdichte ist es jedoch erforderlich, die von dem Laserdiodenarray abgestrahlte Laserstrahlung mit Kollimatorlinsen sowie Kopplungs- und Übertragungsoptiken auf das Werkstück zu fokussieren.

Die hierfür vorgesehenen Anordnungen sind in den Fig. 6 und 7 dargestellt und können außer für das gestapelte Laserdiodenarray auch für die Übertragung der Laserstrahlung von einzeln angeordneten Laserdioden verwendet werden.

In der in Fig. 6 dargestellten Anordnung ist vor jeder einzelnen Laserdiode eine Mikrolinse angeordnet, die einen gebündelten Laserstrahl erzeugt. Die damit erzielbare Leistungsdichte hängt ab von dem Verhältnis der Oberfläche der strahlenden zu den nichtabstrahlenden Flächen und liegt im Bereich von etwa 0,3 für den in Fig. 3 dargestellten Laserdiodenbarren. Je nach Verhältnis der Fläche der Mikrolinse zu der Systemfläche sowie in Abhängigkeit von optischen Verlusten und Linsenfehlern werden schließlich Leistungsdichten im Bereich bis zu etwa  $5 \times 10^5$  Watt pro  $\text{cm}^2$  erreicht.

In Fig. 7 ist die Übertragung der von Laserdioden erzeugten Laserstrahlung mittels Lichtleitfasern dargestellt, wobei die Lichtleitfasern direkt an die Laserdioden angekoppelt werden können oder die emittierte Laserstrahlung über eine geeignete Optik in die Lichtleitfasern eingekoppelt werden. Die einzelnen Lichtleitfasern werden schließlich zu einem Faserbündel zusammengefaßt und zu der Bearbeitungsstelle geführt. Dabei ist jeder einzelnen Lichtleitfaser entweder eine einzelne Laserdiode oder eine Gruppe von mehreren Laserdioden zugeordnet; der Querschnitt der einzelnen Fasern ist rund, oval oder rechteckig. Die Verwendung von Lichtleitfasern zur Übertragung der Laserstrahlung hat den Vorteil, daß die einzelnen Laserdioden unabhängig voneinander angeordnet werden können, im Gegensatz zu der Stapelung der Laserdiodenbarren gemäß Fig. 3 oder bei Verwendung von Linsen gemäß Fig. 4.

Die Laserdioden können im gepulsten Betrieb oder als Dauer-Laser betrieben werden. Bei Verwendung der

Mikrolinsen können die höchsten Leistungsdichten erreicht werden; diese liegen bei etwa  $5 \times 10^5$  Watt pro  $\text{cm}^2$  und darüber.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der Laserstrahlung Laserdioden, insbesondere Hochleistungslaserdioden, vorgesehen sind, und daß die von den einzelnen Laserdioden emittierte Laserstrahlung mit Mitteln zur Strahlführung und -formung auf einen Bereich des zu bearbeitenden Materials gerichtet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Laserdioden in einem Laserdiodenbarren oder vertikal in einem Laserdiodenwafer voneinander beabstandet angeordnet sind, und daß der Laserdiodenbarren oder der Laserdiodenwafer mit einem Kühlelement wärmeleitend verbunden sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine von dem zu bearbeitenden Material abhängige Anzahl von Laserdiodenbarren übereinander gestapelt zu einem Laserdiodenarray angeordnet sind, wobei zwischen den Laserdiodenbarren Kühlelemente vorgesehen sind, von denen die beim Betrieb der Laserdioden entstehende Wärme mit einem flüssigen oder gasförmigen Kühlmittel abgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines Fokus auf dem zu bearbeitenden Material vor jeder einzelnen Laserdiode eine Mikrolinse als Kollimatorlinse angeordnet ist, und daß die von den einzelnen Mikrolinsen ausgehenden Laserstrahlen mit innerer Kopplungsoptik auf den Bearbeitungsbereich gerichtet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines Fokus auf dem zu bearbeitenden Material jeweils vor einer Mehrzahl von einzelnen Laserdioden oder vor jedem Laserdiodenbarren eine Kollimatorlinse angeordnet ist und die einzelnen Laserstrahlen mit einer Kopplungsoptik auf den Bearbeitungsbereich gerichtet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollimatorlinse als Zylinderlinse ausgebildet ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines Fokus auf dem zu bearbeitenden Material die von den Laserdioden ausgehende Laserstrahlung mittels einer Kopplungsoptik oder durch direkten Anschluß Lichtleitfasern zugeführt wird, wobei jeder einzelnen Laserdiode oder einer Gruppe von Laserdioden eine Lichtleitfaser mit oder ohne Kopplungsoptik zugeordnet ist, daß die Lichtleitfasern zu einem Faserbündel zusammengefaßt werden, daß das Faserbündel zu dem Bearbeitungsbereich geführt wird und daß die aus dem Faserbündel austretende Laserstrahlung direkt oder über eine Fokussiereinrichtung auf den Bearbeitungsbereich gerichtet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Fokus linienförmig, punktförmig, oval oder rechteckförmig ausgebildet ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens 1000, vorzugsweise mehr als 20 000 einzelne Laserdioden vorgesehen sind.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, 5 dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der erzeugten Laserstrahlung im Sichtbaren bis nahen Infrarot ( $< 2000$  nm), vorzugsweise zwischen 750 nm und 950 nm liegt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, 10 dadurch gekennzeichnet, daß als Materialbearbeitung das Löten, Schneiden, Bohren, Schweißen, und Oberflächenbehandeln wie z. B. das Umwandlungshärten von, insbesondere metallischen Werkstücken oder von organischen Materialien, vorgesehen 15 ist.

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

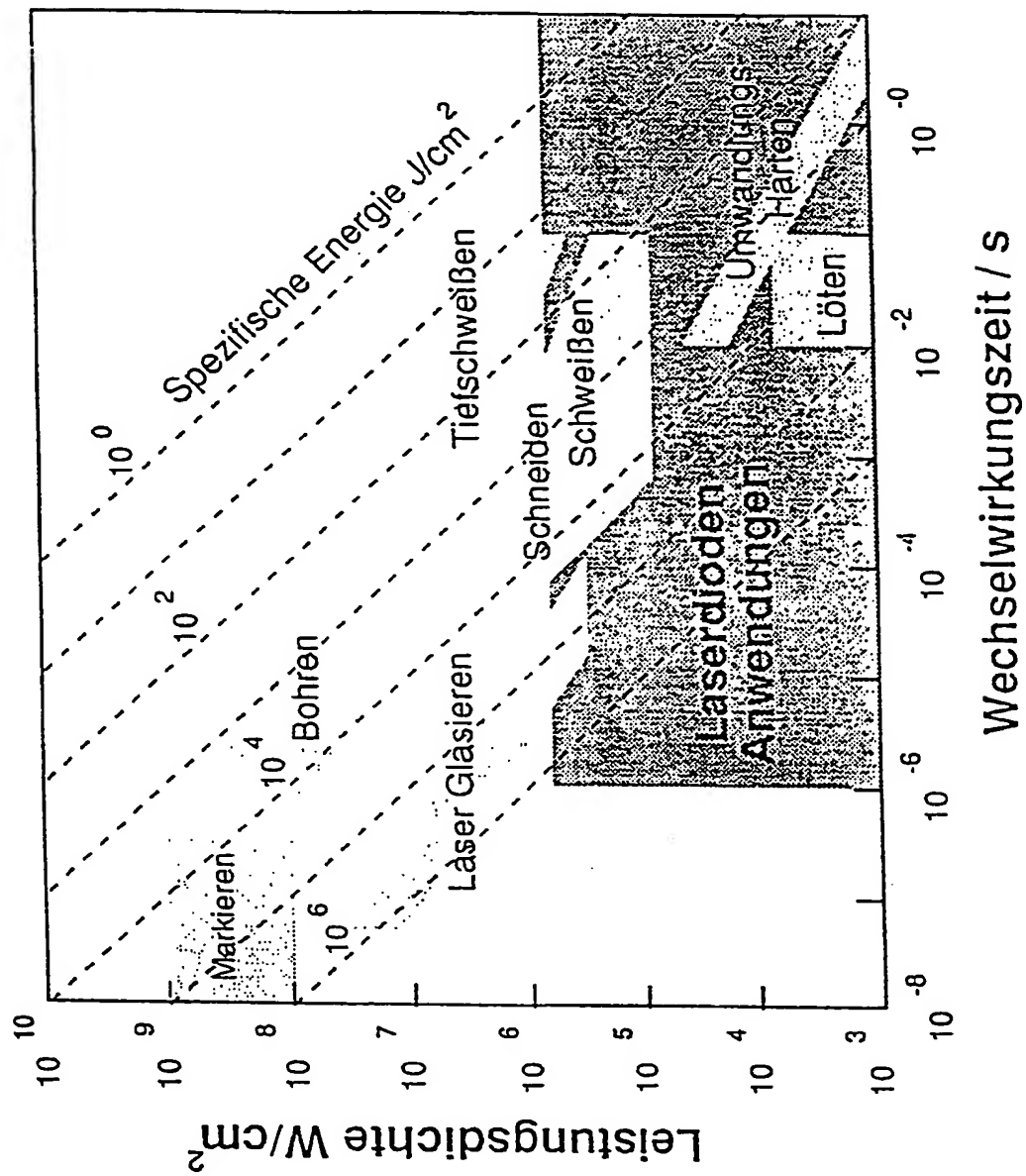


Fig. 1

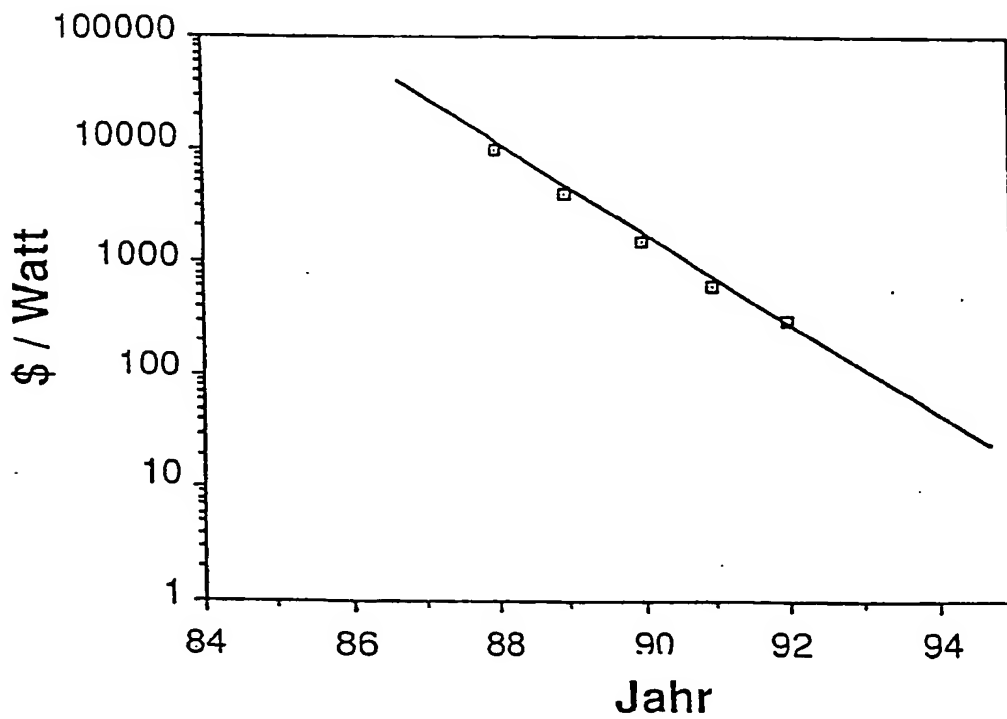
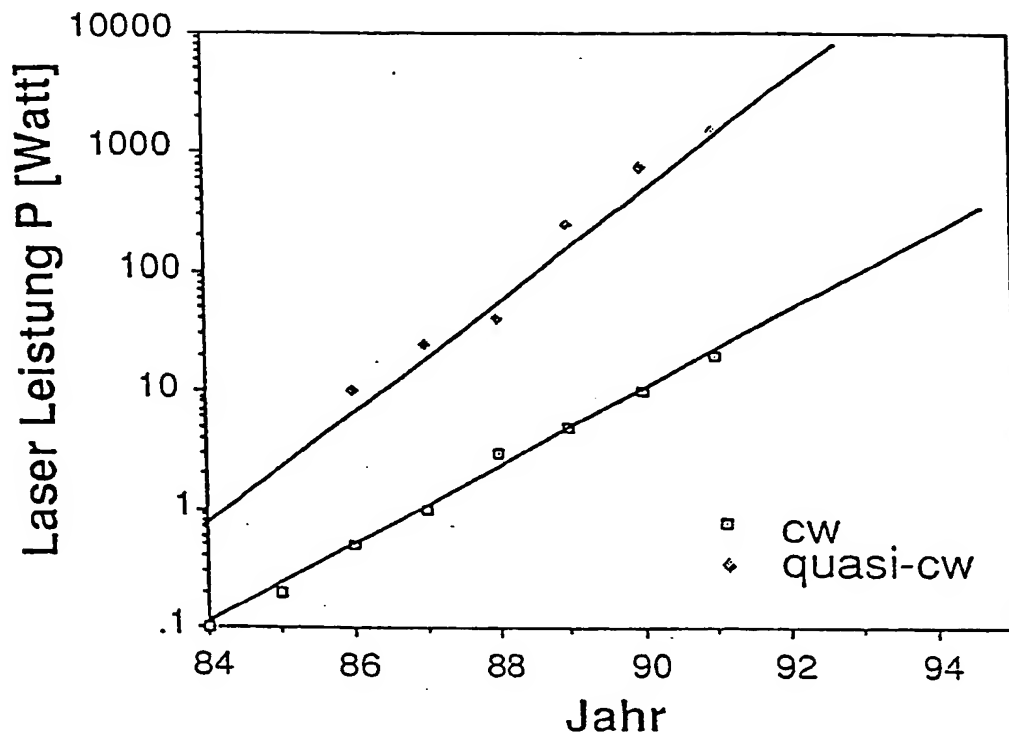


Fig. 2

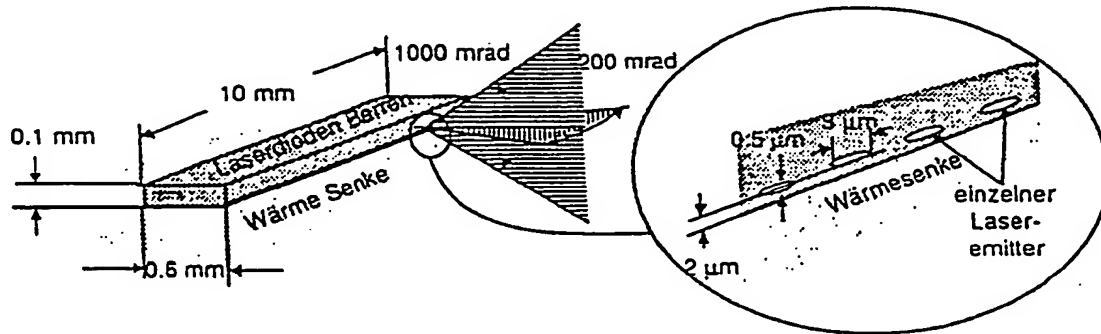


Fig. 3

Fig. 4

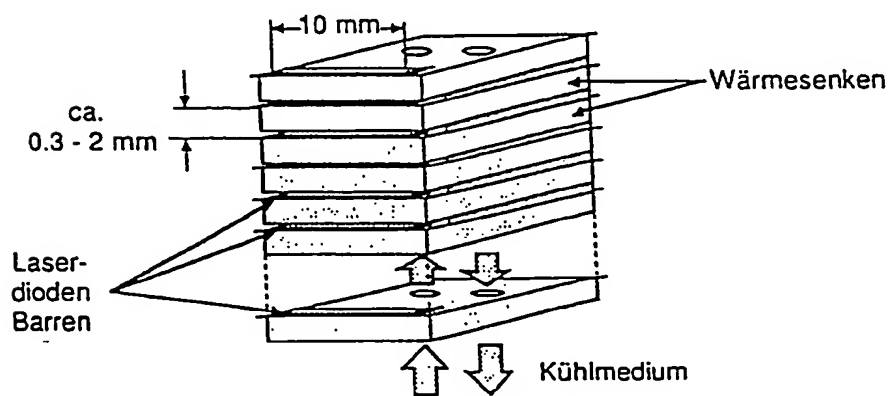


Fig. 5

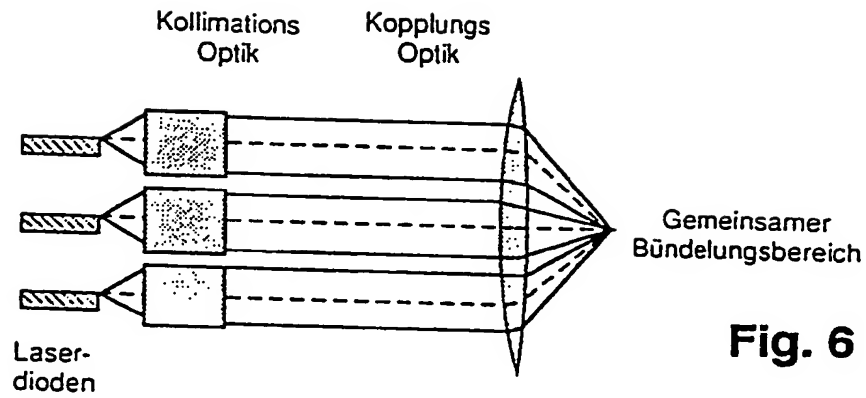


Fig. 6

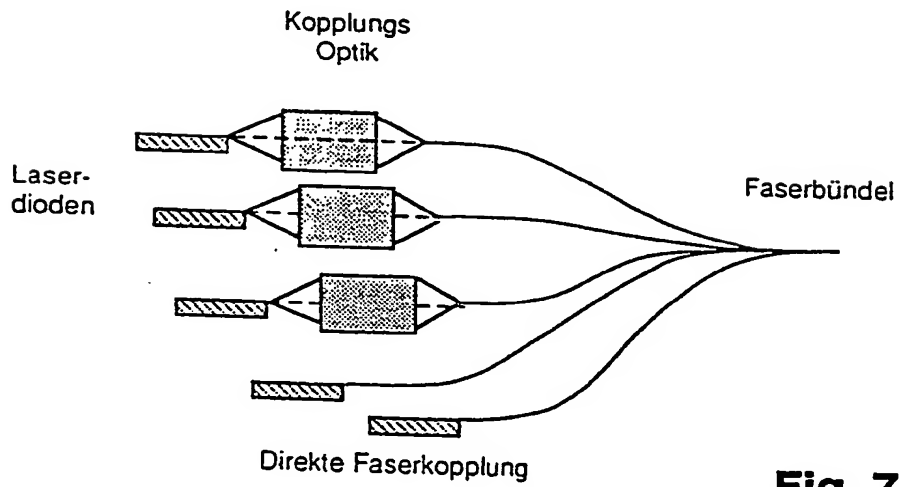
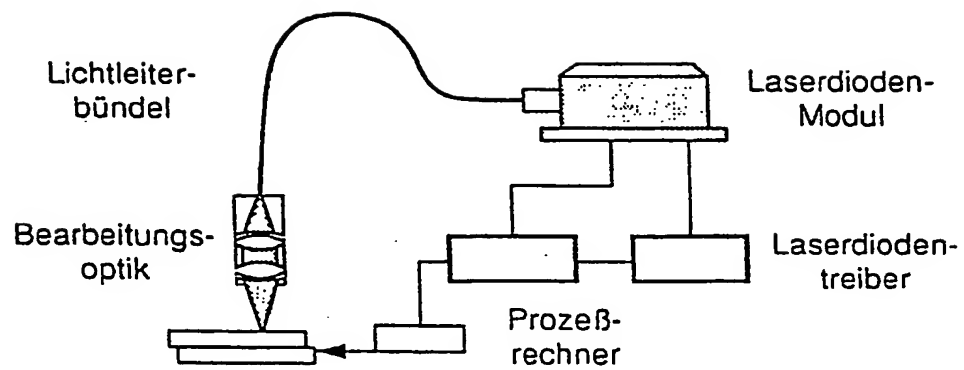


Fig. 7





**Fig. 8**

	Laserdioden	Nd : YAG	CO <sub>2</sub>
Effizienz	30 - 60 %	1 - 3 %	5 - 10 %
Wellenlänge	0.78 - 0.83 $\mu\text{m}$	1.064 $\mu\text{m}$	10.6 $\mu\text{m}$
Leistung	multi kW	bis 3 kW	bis 20 kW
Lebensdauer	20.000 - 100.000 h	10.000 h	10.000 h
Wartung	wartungsfrei	alle 200 h (Lampen)	alle 500 h
Preis/Watt	200 - 400 DM/Watt	300 - 1000 DM/Watt	200 - 400 DM/Watt
Faserkopplung	möglich	möglich	nicht möglich
Betriebsspannung	bis 100 V	bis 1000 V	bis 10 kV
Watt / Laservolumen	1000 Watt/cm <sup>3</sup>	50 Watt/cm <sup>3</sup>	1 Watt/cm <sup>3</sup>

Fig. 9